

## 第5章 冷熱エネルギー利用の多様な実践

日向 宏伸

### はじめに

冷熱エネルギーには雪だけでなく、氷、凍土なども含まれる。いずれも冷熱を用いるというところでは共通しているが、発想の違いにより冷熱の利用の仕方やそれにとまなう施設や技術も異なっている。主に冷熱エネルギーの利用方法としては、農作物などの貯蔵や施設冷房の二つに大別できるが、そのなかでもいろいろな形で冷熱エネルギーは利用できる。例えば、貯蔵という側面で冷熱を利用することを考える。それだけでも、氷室・アイスシェルター（氷のドーム）・氷温貯蔵庫・人工凍土などが挙げられる。また、冷房という側面から考えても新たに地中熱利用との組み合わせであるハイブリッド型の冷熱利用というのも現在考えられており、冷熱エネルギー単独での使用だけでなく他のエネルギーと組み合わせることで互いの不足部分を補おうとしている。本章では、凍土利用の観点から帯広畜産大学（第1節）、地中熱利用の観点から積水化学北海道株式会社（第2節）、地中熱利用とハイブリッド型の観点から岩見沢農業高校（第3節）を取り上げ、冷熱の利用形態がさまざまあるということを以下に述べていく。

### 5.1 帯広畜産大学での実践

#### 5.1.1 概要

帯広畜産大学では1987年に1つのモデルプラントが作られた。それはヒートパイプで凍土を作り、プラント内に農作物などを貯蔵するというものである。このモデルプラントができる背景には、現在帯広畜産大学名誉教授である土谷富士夫氏をはじめとする方々の動きがあった。土谷氏は1970年に北海道大学を卒業し、民間に1年間勤めた。その後、帯広畜産大学に農業土木の教室の助手として勤めることになり、1995年に教授となった。2010年まで教授として勤め、その年に名誉教授・特任教授となった。2011年からは株式会社ズコーシャに技術顧問として勤務し、現在もヒートパイプの低温貯蔵庫のプラントや雪氷絡みの仕事も行っている。

当時、雪氷の研究者が少なかったと土谷氏は言う。雪氷に取り組む時期は主に冬から春先なので、学生の卒業論文や予算の面で苦労があるからだ。土谷氏は「農業における農地に及ぼす凍結・凍上の影響」という題で学位論文を取り、凍結・凍上対策について長年研究していたが、その過程で、凍土は多くの悪さをするが良いこともすることがわかった。そこで、これまでの悪いところを逆手にとり、凍土の中に農産物を貯蔵することでうまく

利用しようとし、人口凍土による貯蔵庫が作れないかと考えた。寒冷地域では、冬の寒さを利用することで地中に凍土を作ることができる。その凍土から得られる蓄積された冷熱を低温貯蔵庫として利用しようと考えたのである。

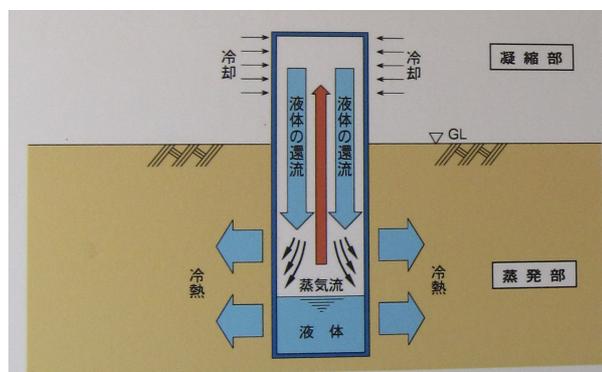
そのような折、LNGの貯蔵施設周辺の凍土化という課題に直面していた清水建設の研究者が、凍土研究を行っている土谷氏に相談を持ちかけ、共同研究を進めることとなった。現在の帯広畜産大学（以下「帯畜」）のシステムはその実験施設として作られたのである。

### 5.1.2 凍土造成の手段 —ヒートパイプ

1970年代にアラスカの北極海から永久凍土地帯を横切り60℃の原油が流れた。このとき、原油の熱により永久凍土を融解するとコケが死滅し、それを主食とするカリブが死滅することにつながる恐れがあった。そういった状況に対応するため、地中にヒートパイプを取り付け、土壌を冷却し、熱が下に伝わらないようにした。土谷氏は凍土利用の際にこういった技術があることを紹介され、ヒートパイプに取り組むようになった。ヒートパイプがどのようなものか知るために5年の研究を経て、後に述べる帯広畜産大学の低温貯蔵庫に利用することになった。

ヒートパイプの原理は土谷／了戒（2009）に丁寧な解説があるので以下にそのまま引用する。なお、ヒートポンプとヒートパイプは全くの別物である。ヒートパイプは、「密閉容器のなかに封じ込まれた液体が、加熱されることにより、蒸発して気体となり容器内に充満する。このとき、他方を冷却すると蒸気は凝縮して液体に戻る。このとき加熱部では蒸発に必要な潜熱が液体に吸収され、冷却部ではその熱が放出されるので、外部からみると固体の棒の熱伝導によって熱が流れるのと同じように、蒸発部から凝縮部へ熱を輸送するように見える」（土谷／了戒，2009:16）。簡潔に述べると、電気を必要とせず、温度差だけで動くのである。

図 5-1 ヒートパイプ作動原理図



筆者撮影

画像 5-1 帯広畜産大学実験プラント

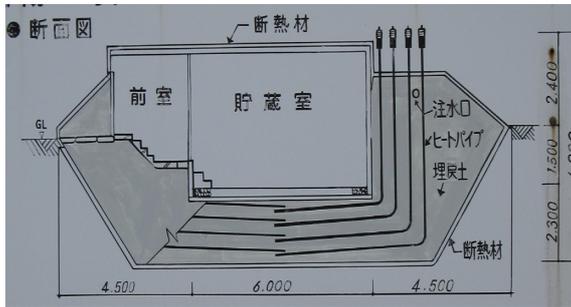


筆者撮影

### 5.1.3 帯広畜産大学での実験と成果

帯畜の実験プラントは現在も稼働している。システム原理は、熱伝導効率の良いヒートパイプを地盤内に設置することで冬期の冷熱を凍土の形で地盤内

図 5-2 システム断面図



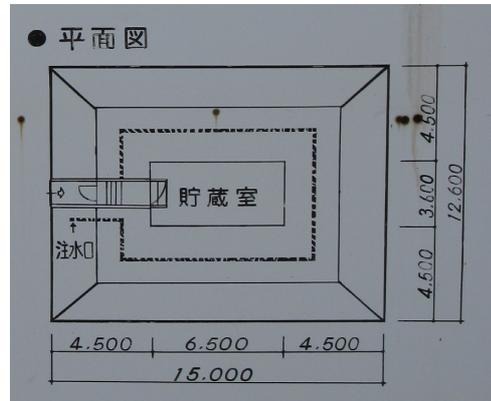
筆者撮影

に蓄える。そして、構築した凍土を冷熱源として貯蔵空間を形成するというものである。フルシーズン貯蔵するので永久凍土型である。ヒートパイプは 216 本用いられているが、土谷氏によると永久凍土にするには 100 本程度で十分であり、明らかに多すぎたとのことだった。この実験プラントには群設したヒートパイプの凍結性能の確認、庫内の温度及び湿度環境の把握、貯蔵物の品質評価という 3 つの目的があった。

土谷 (2009) では、メイクインを実用プラント (2003 年に八千代地域で作られたプラント。詳細は土谷 (2009) を参照) と実験プラント (帯広畜産大学のプラント)、電気冷蔵庫 (5°C に設定) に貯蔵し、減耗率と Brix 値 (糖含量) の測定を行った。測定結果をグラフ 5-1・5-2 に示す。

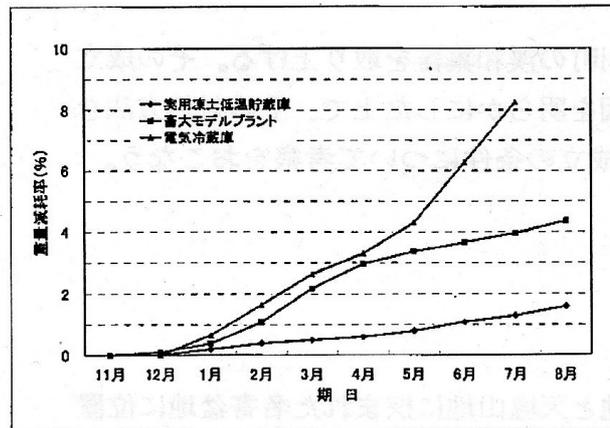
重量減耗率の変化からは、電気冷蔵庫では 5 月過ぎに 5% を超えるため貯蔵に適さないことがわかる。また、実験プラントはほとんど 0°C に近いため実用プラントよりも重量減耗率が大きくなっている。Brix 値の変化からは実験プラントの糖含量の増加が最も大きいことがわかる。実用プラント、電気冷蔵庫の Brix 値の変化を見ると、糖含量は貯蔵庫内の平均庫内温度に依存しているものと思われる。これらの結果から、これらの貯蔵

図 5-3 システム平面図



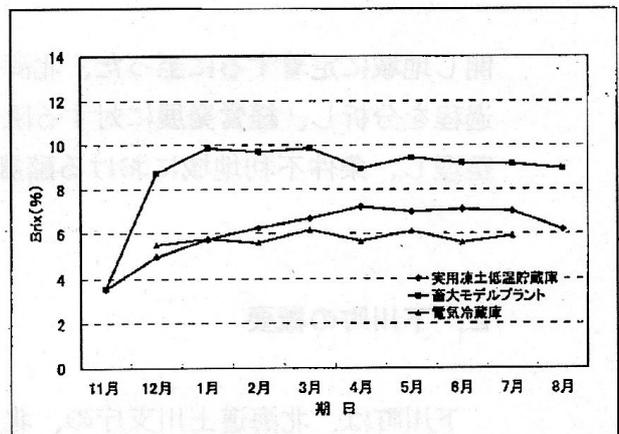
筆者撮影

グラフ 5-1 メイクインの重量減耗率の変化



出所：土谷 (2009)

グラフ 5-2 メイクインの Brix (糖含量) の変化



出所：土谷 (2009)

庫を用いて減耗率の変化は湿度に、そして糖分含量は庫内温度に強く依存することが明らかとなった。

現在、改めて土谷氏に実験プラントについての成果を尋ねると、成果は十分であったとし、当初の予想以上の結果を得たと振り返る。先進国でも技術的な良い評価を受けているのだが、一方でモデルプラントのため改良や改修が難しいこと、凍上に対する対策が難しいことを課題としている。

また、帯畜では土谷氏の研究を引き継いだ研究者がいらないため、現時点では実験プラントの管理者も不在ということになる。そのため、これからも土谷氏が維持していくとのことである。ただ、耐久年数が達すると問題が生じるが、いずれ後継者が現れるだろうと考えており、心配はしていないとのことであった。

#### 5.1.4 ヒートパイプシステムのメリット・デメリット

本システムの最大の長所は電気を全く使わず低温貯蔵でき、貯蔵物が高品質になるまたは良い品質を維持できることである。低温貯蔵によりデンプンが糖に変わることによってイモや長芋が甘くなるなどの効果がある。電気冷蔵庫と違って乾燥しないことも良いところである。また、電気や機械を全く使わず温度差だけで作動するのでメンテナンスは不要である。作動液がフロンなので環境への負荷が懸念されるが、完全密閉なので漏れる心配はなく、アンモニアなどで代替させても作動することがわかっているので問題はない。

一方で、短所としてヒートパイプそのものが高価であることが挙げられる。ヒートパイプは既製品でなく注文品なので、今後利用者が増えていくとコストダウンが可能であるが現状では高額である（土谷氏によると1本約15~16万円）。一度入れたヒートパイプを取り除くことが難しいこともデメリットである。L字型に埋設するので取り出すのが困難とのことである（図5-2参照）。また、どの自然エネルギーにもいえることだが、微調整ができないことも挙げられる。ただ、現状ではイニシャルコストが高いという意味では高価なシステムであるが、長期的な視点で見ると確実にメリットが得られるだろう。

#### 5.1.5 雪氷冷熱エネルギーに寄せる期待と展望

土谷氏にとって雪氷エネルギーとは、再生可能エネルギーの一つで、北海道のような積雪寒冷地にとって重要な資源であると考えている。雪氷エネルギーには、食料の確保と食の安全・安心・安定の効果を期待しており、実際に取り組んでみて雪氷エネルギーの意義は十分に感じており、今後も積極的に取り組みたいとの意志を示した。

現在、取り組んでいることのひとつとして雪氷エネルギーのブランド化が挙げられる。貯蔵野菜の付

画像 5-2 ロゴマーク



出所：土谷氏提供資料

加価値が高いことを理解させ、季節的変動価格に左右されないことを示し、自然に優しく、温暖化ガスの削減に寄与していることをアピールしていきたいという考えである。ブランド化するために雪氷貯蔵したものにロゴマークを貼っている（画像 5-2）。ロゴは全国からデザインを募集し、審査を行い厳選されたものである。こういった取り組みを行い、雪氷についての関心・認知を高めていくことで雪氷エネルギーの発展につなげていくのである。

### 5.1.6 エネルギー問題と今後の課題

土谷氏は、日本だけでなく世界を視野に入れてエネルギー問題について考えている。アジアの人口増加により食糧が不足することは間違いない。自然災害や原子力事故に対応するために、電気に依存しない貯蔵が必要である。海外でも食糧貯蔵庫を作る必要があり、今後は中国・モンゴル・ロシアなどにも展開していきたいとのことだった。また、日本では雪氷エネルギーについての認知を高めるため、ブランド化などを行って関心を高めることで、今後の雪氷エネルギーを考え、展開していくことになるだろう。そして、日本ほど雪が降る国はないため、日本よりも雪の研究が進んでいる国はない。現在、雪・氷・凍土の研究者が少なく高齢化しているため、後継者となる若手の研究者がいない。多くの人たちに雪氷について認知してもらうことで、冷熱研究を引き継いでくれる若手の研究者が生まれてほしいという願いも取り組みの意図として含まれているのかもしれない。

## 5.2 積水化学北海道での実践

### 5.2.1 積水化学北海道の概要

積水化学北海道（以下「積水化学」）は1963年10月に設立され、本社を岩見沢に構えている。積水化学は塩化ビニル管（以下「塩ビ管」）メーカーであり、樹脂加工製品製造および販売が主な事業である。2003年に幕別ではじめて地中熱に関する実験を行い、以降、岩見沢農業高校に地中熱利用という研究題材や備品の提供を行い、岩農との研究活動にも大いに貢献している。2011年1月には「新エネルギー・省エネルギー取組発表会 in 岩見沢2011」に参加、「地中熱を利用した施設園芸への取組について」と題した発表も行っている。

### 5.2.2 地中熱利用の位置づけと取り組む経緯

積水化学が地中熱利用という分野に取り組むようになったのは、塩ビ管の用途探索の中に地中熱利用があったからである。夏は地中の方が涼しく、冬は地中の方が温かいということは古くから知られており、そこに管を通せば涼しい風や温かい風が出るということも、アイデアとして多くの人々が持っていた。しかし、本格的に行動に移したところはまだなかったため、積水化学は塩ビ管を用いて行おうと考えた。そのため、積水化学にとって地中熱利用は特別なものではなく、あくまで開発テーマの1つに過ぎないのである。ただ、積水化学はエネルギーや環境について関心が薄いわけではなく、それについての取り組み

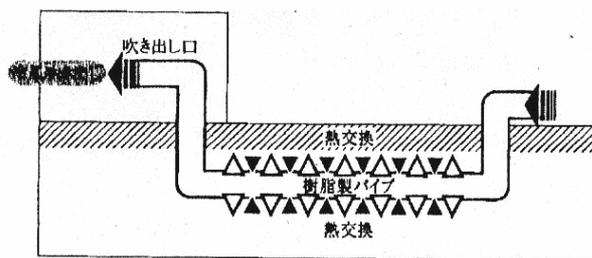
も積極的に行っていることは断わっておく。

### 5.2.3 クールチューブの原理

地中熱利用にあつては、地中の温度変化の少なさを利用し、地中に熱交換性に優れた特殊な塩ビ管（樹脂製熱交換パイプ）を埋めている。この特殊な塩ビ管のことをクールチューブまたはヒートチューブという。以下、ヒートパイプやヒートポンプとの混同を防ぐため、クールチューブと呼ぶことにする。

システムの原理としては大変シンプルである。クールチューブを深さ 1~3m の浅層に埋設し、送風機を用いてチューブ内に外気を取り込む。すると、熱交換により夏では空気が冷却され、冬では空気が温められる。そして、熱交換された空気を吹き出し口から出すというものである（図 5-4 参照）

図 5-4：樹脂製パイプによる地熱利用システム



出所：吾孫子他（2008:24）

### 5.2.4 クールチューブのメリット・デメリット

新築であれば土木工事と外構工事は併用して行われる。そのため、建築の際に併用して塩ビ管を入れることも可能なので、イニシャルコストが安くできる。特に北海道では凍結深度が設定されているため、それ以上に深く掘らねばならない。どうせ深く掘らねばならないのなら塩ビ管を建物の周りに沿って設置することも作業する上で容易である。その際の掘削による土壌環境への影響は、掘った土を管を入れた後で元に戻すため特になくしている。また、ランニングコストも送風機電力のみなので効率やコストの面では良い。このシステムは可動部が少ないので故障しにくく、メンテナンスがほとんど不要なので製品寿命としては高い。

一方で、地中の温度に依存するシステムなので温度調節ができず、風量で調整するしかないことが大きなデメリットである。さらに、エアコンとは違って過冷却ができないため、除湿効果が小さい。しかし、風量が多いので除湿量は多い。肌がピリピリ痛むなどの理由でエアコンを嫌う人も少なくない。そういった人にとってはあまり除湿しないことが逆に長所を感じる。湿度については北海道の人が特に気にするらしく、本州の人になると外よりも湿度が低い

とそれでよいという認識が強い傾向がある。よって、除湿については一概にデ

表 5-1 地中熱利用とエアコンの能力比較

	風量	吹出温度	除湿能力	消費電力	製品寿命
地中熱利用	◎	△	△	◎	◎
市販エアコン	△	◎	◎	△	△

出所：積水化学北海道株式会社提供資料

画像 5-3：積水化学内のシステムの送風口



筆者撮影

グラフ 5-3：外気温と地中温度の季節推移例



出所：積水化学北海道株式会社提供資料

メリットとして扱えない面も持っている。

また、システム原理からわかることであるが、本システムは外気温と地中温度の差がある方が、効果が高いといえる。そのため、どこでも進められるシステムとは言い難く、地域性に依存するところがある。

### 5.2.5 これまでの実践と成果

試験的な取り組みとしては、岩見沢農業高校と滝川にある花・野菜技術センターで栽培実験を行っている（前者については後述）。花・野菜技術センターでは比較実験を行って3年目になるが、成果についてはまだ十分でないとしている。理由としては、年により日射の多い年・少ない年があるため、同じ条件の下で行えないということが挙げられる。また、品種によっても効果が異なり、効果を認めるためには1品種で3年以上かかる。現在、イチゴ・ミニトマト・バラなどを実践しているが、実験している品種が少ないため効果を主張するには不十分な点が多い。そのため、今後も品種を増やすなどして実験や検証を重ねていき、農家などに効果を示せるだけの結果を得ることが必要である。

一方で、積水化学では「リブクール」というシステムによる実験を行っている。その温度データをグラフ 5-3 に示す。外気は、夏 28°C・冬 -8°C と約 30°C の差があるが、地中は建築施工時に掘削する程度の深さ（約 2m）でも夏 18°C・冬 5°C と安定しており、熱源として有効であることが実験により明らかになった。施設に入り、実際に地中熱システムを体験したが、ほぼ冷房と同様の効果を感じ、暑すぎず冷えすぎない心地よい温度を得ることが確認できた。また、2011 年からは、栗沢町の花卉栽培農家がハウスの温度調節のためにクールチューブを導入した。今後の結果が期待される。

### 5.2.6 地中熱利用に寄せる期待と展望

担当者の吾孫子氏は、地中熱利用が広がるのは良いことと捉えているが、後々のことを考えたような利用の仕方が良いのではないかと考えている。例えば、地中熱ヒートポンプには 100~200m のボーリングを行い、熱交換のチューブを入れるなどして採熱を得るも

がある。それが全世帯の4割~5割に普及したとして、20~30年後に家を取り壊して違う所に移動することになるとそれはどうするのだろうか」と指摘している。一方で、クールチューブを用いた本システムは深さ2~3mという浅層にチューブを埋設するので、取り壊すにしてもまた使うにしても問題のない深さである。また、チューブ内に通すのは空気なので仮にチューブに穴があいても何かが漏れる恐れも無い。このシステムも環境への負荷が全くないわけではないが、長期的な見方でエネルギーを利用することが大切であるとしている。ただ、積水化学は地中熱ヒートポンプに否定的であるわけではなく、メリットも知った上での指摘であることは断っておく。

また、岩見沢では地中熱の施工実績はまだそれほど多くはない。理由は岩見沢が比較的新築の建造物を立てることが少ないなどさまざまである。そして、岩見沢市は地中熱を農業分野での利用に進める考えであるだろう。地中熱の農業利用は直接的な経済的メリットが生じにくい。直接的に経済的メリットを得る場合は牛舎や鶏舎などに利用する方が妥当である。なぜなら、冷房によって乳量や産卵数が増加することで直接的に収入に反映されるからである。他方、農業では冷暖房費削減などの効果は確かにあるが、それよりも生産物の品質向上の方がメリットとしては大きい。品質向上というのは金額に出にくいところなので、農家に収入が何倍になったなどのアピールがしにくいところはある。これまで、作物を冷やそうとする専門の方や論文はあまりなかったため、手探りのところがある。手探りであるがゆえに販売やPRが難しいので、リスクを理解する上で採用してほしいとのことである。地中熱は発展途上の分野であるが、今後どのようになるか楽しみかつ応用の可能性がある分野であるとのことだった。

また、今年には東日本大震災の避難先である体育館が夏場大変暑かったこともあり、太陽光や風力で得られた電気を地中熱の送風機の動力に使うということができれば良いという考えもうかがうことができた。こうしたことを踏まえ、地中熱利用が、今後起こるであろう万が一の時の備えになるようなシステムになっていけばよいとのことだった。

### 5.2.7 エネルギー問題と今後の課題

積水化学の環境への取り組み・スタンスは「無理をしない利用の仕方が最も良い」である。雪の利用そのものは良いと考えているが、雪のことを優先して膨大なコストをかけたか、自然に逆らった形での利用は違うとしている。他の自然エネルギーについても同様である。エネルギーとして利用できる分は利用すべきであるが、それが環境に影響するほどの利用の仕方であってはならない。また、技術者としては、爆発的に地中熱の普及が増えることや売れることになればそれは嬉しいことであるが、それ以上にシステムをきちんと理解してもらえらる方に使ってもらいたいという願いがあるとのことだった。また、さまざまなエネルギー問題がある中でどのような技術の展望が好ましいか聞いたところ、安くて良いもの（導入する側のメリットが大きいもの）かつ環境にあまり影響を与えないものだとし、積水化学としてもそれを目指して取り組んでいきたいとのことだった。

## 5.3 岩見沢農業高等学校での実践

### 5.3.1 冷熱エネルギー・地中熱利用に取り組む経緯

第4章でも述べられているように、岩見沢農業高校（以下、岩農）の農業土木工学科では、2年生になると「プロジェクト学習」という研究活動が始まる。その活動の一環として雪や地中熱の取り組みがある。ここでは、地中熱利用に取り組みはじめた経緯について紹介する。

地中熱への取り組みは、2006年頃、美唄自然エネルギー研究会で積水化学の人に出会ったことから始まった。当時の積水化学は住宅の空調用という形で地中熱に取り組んでいたが、農業利用に使用したらどうかという話を積水化学から受け、実験的に取り組むことになった。積水化学が岩農に地中熱を薦めたのは、岩農が創立100周年を迎えたため同じ市内にいる企業として何かできないかと考えたという背景がある。岩農からは事業の一環として行えるものがよいということで、塩ビ管を用いた地中熱を薦めたとのことだった。そして、2007年に「地中熱利用作物栽培実験」という形で地中熱利用についての研究活動が始まった。

### 5.3.2 地中熱利用への取り組み

2007年の「地中熱利用作物栽培実験」ではレタスとホウレンソウを栽培した。レタスを選んだことにはあまり深い意味はなく、ホウレンソウは暑いと収量が落ちる・品質が悪くなる・花芽がついてしまうことを農業科学の先生から教わり、地中熱を利用して冷やすとどうなるかということで実験に用いた。翌年の2008年もこの実験は継続し、新たに「地中熱実用化ハウス施工」が行われ、2009年から運用試験をはじめている。運用試験の成果はまだ出ていない。温度のデータは出しているが、ハウス全体を冷やすのと局所冷房とでは全く異なる。2008年にはハウス全体を冷やしたが、熱負荷が大きいので難しいという。次の年には局所冷房で取り組み、現在も経過を見ているとのことである。2010年には「地中熱・LEDによる閉鎖型植物工場システム」の実験が始まる。これはLEDで野菜を栽培して出荷するという取り組みである。野菜を屋内で作っているため空調が必要であり、そこに地中熱が使われているのである。この取り組みは現時点ではあまり上手くいっていない。温度は取れるが、栽培の面ではまだまだ工夫が必要とのことである。仕組みの問題というよりも農業技術の問題であるだろう。

### 5.3.3 地中熱利用への評価

岩農からみると、地中熱に対して岩見沢市や積水化学はとても積極的な姿勢を示しているとのことだった。岩農では2007年から地中熱利用が研究活動の中に組み込まれ、以降雪以外の選択肢が定着しはじめた。そのような中で、生徒の反応はというと雪に前向きである。岩農は地中熱のシステムとしてはメリットが高いが、普及や利用、学習ということ

考えるとさらなる工夫が必要との見解を示した。また、住宅の空調用としては使用しやすいが、農業利用では掘削による土壌環境の悪化などの問題が生じることもあり工夫・改善が必要であることを指摘した。この点は、積水化学での地中熱の評価との食い違いを感じるかもしれない。これは互いの土や土壌に対する認識や利用の考え方の違いから生じたものと思われる。掘削した後、土を戻せば動物が生きていくうえでは問題ないのかもしれないが、岩農のケースのように、粘土質の土が表土となることで水はけが悪くなり、植物が育ちにくくなるというようなことも起こり得る。それぞれの立場に立って地中熱利用の長所・短所をさらに検討していくことが必要になるだろう。

#### 5.3.4 ハイブリッド型の構想と実現に向けて

岩農はプロジェクト学習により、雪冷熱への取り組みと地中熱への取り組みがされている。実験の結果、それぞれに次のような特徴を見出すことができた。雪冷熱のメリットは夜間の気温より低温であること、デメリットは連続運転により雪が減少するため効果が低下すること、地中熱のメリットは日中の温度を低く保てる、連続運転に適すること、デメリットは夜間では気温とほぼ同じ温度になってしまうこととしている。これらの長所を互いに活かし合ったシステムがあればよいのではないかとということでハイブリッドシステムの構想が生まれた。ただ、現時点ではあくまで構想段階でシステムの完成には至っておらず、今後の研究活動においてシステム開発、完成したシステムの導入実験などを行っていくことになる。雪冷熱・地中熱のハイブリッドシステムを導入することで夏季の暑熱ストレスを抑えた高品質・高収量の野菜栽培施設をつくるのが目的になる。

前述の土谷氏はハイブリッド型のシステムが出てこないことを懸念されていた。その中で、まだ十分なものとはいえないが、高校生がハイブリッド型の提案を打ち出せることは素晴らしいことであろう。しかし、まだ実際に開発を進めているわけではない。今後の研究活動の課題として取り組むことになるのだろうが、現時点では開発について他の企業に相談するなどの行動も見られない。積水化学に聞き取りを行った際、岩農からハイブリッド型の開発依頼があれば開発に乗り出す意志はあるとのことだったので是非開発に乗り出して欲しいと思う。現段階では不完全なハイブリッド型でも他機関・企業の協力を賜り、取り組むことでエネルギー問題に対する一つの道を作ることができればさらなる進展があることだろう。

#### 5.3.5 今後の展望

岩農の展望として、基礎実験を継続していくことで地中熱システムのメリットを検証や雪冷熱に対する再評価を行うとしている。特に地中熱については実験結果がまだ十分なものとはいえず、あらゆる作物や施設での検証が必要である。今後も実験を重ね、データ取りを続けることで周囲にもアピールできるようなものにしていきたいとのことである。次に、雪冷熱・地中熱ハイブリッドシステムの完成を挙げている。現在は構想段階で完成に

至っていない。ハイブリッド型を完成させることで運用実験を行い、メリットを活かした作物栽培体系の確立を目指している。そして、地域との連携による技術開発と普及を挙げている。雪冷熱や地中熱に取り組みシステムを開発するだけでなく、コスト・労力・収益性の面から地域が導入可能なものであるかどうかを検証し普及できるものにしていきたいとしている。

## おわりに

これからの社会は化石燃料や原子力に依存しない自然エネルギーへとシフトしていくことになるだろう。そのなかで今後、雪冷熱や地中熱も重要な位置づけになることは間違いない。しかし、自然エネルギーに取り組むというのは容易なことではなく、経済面や利用面でのメリットが得られないと継続が難しいものである。岩見沢では、特別豪雪地帯であること、農業分野が盛んであることから地元の市や企業などと連携して雪冷熱に取り組んでいる。まだ、雪に対する取り組みも地域連携も十分なものとはいえないが、自然エネルギーに取り組むためには地域連携は欠かすことができない。岩見沢での地域連携をより充実させ、地域全体で冷熱エネルギーに取り組めるようになればさらなる発展が期待できるだろう。

また、太陽光や風力などに比べると雪冷熱や地中熱の認知度が低いことも問題だろう。雪氷冷熱について認知してもらうための手段としてブランド化に向けた取り組みが各地で進められている。帯広の土谷氏は冷熱で保管された農作物にロゴマークを貼ることで認知してもらおうとしている。岩見沢では雪冷熱を使ったイチゴを雪ん娘というブランドで販売することで認知してもらおうとしている（第3章参照）。自然エネルギーに取り組むためには地域連携が欠かせないが、普及・継続するためには多くの人に知ってもらい、協力してもらうことも必要となるだろう。

そして、技術的にもまだまだ数多くある雪のデメリットを、議論を重ねていくことで一つひとつクリアしていかなければならない。冷熱エネルギーが地域活性化やエネルギー問題を克服するものへと発展し、今後自然エネルギーに取り組む地域が増えていくことを期待したい。

**【謝辞】** 本論文を作成するにあたり、調査にご協力してくださった帯広畜産大学名誉教授土谷富士夫先生、積水化学北海道吾孫子正和さん・菅野昇平さん、北海道岩見沢農業高等学校土田純也先生・阿部善史先生ならびに我々にプレゼンをしてくださった農業土木科の3年生に心からお礼申し上げます。また、岩見沢市環境部環境保全課からは三島均さんに岩見沢を案内していただき、利雪の取り組みをはじめさまざまなことをご教授して下さいました。重ねてお礼申し上げます。

表 5-2 凍土低温貯蔵システム（ヒートパイプシステム）の施工実績

完成年	システム名	HP 本数	詳細
1987年	帯広畜産大学ヒートパイプシステム 	216本	5.1.5を参照
1989年	網走寒冷エネルギー利用システム 	40本	土谷氏が、網走市の補助を受けて市内呼人町に低温貯蔵庫モデルが作られた。
1991年	士幌高校の小型低温貯蔵庫 	10本	土谷氏が、士幌町から依頼されて施工。しかし、施工不良によるヒートパイプの沈下、また、本数不足で十分な運用実績が上げられず、ネズミが入るようになったため、撤去された。
1999年	長野県大町市 アルプス搗精工場 	120本	清水建設が開発。壁に土ではなく、吸湿性ポリマーを入れたことが特徴である。これにより、乾燥地域にもヒートパイプを使える可能性を広げることとなった。

<p>2006年 11月</p>	<p>農業生産法人テクノ・ファーム HP型実用凍土低温貯蔵庫</p> 	<p>80本</p>	<p>土谷氏の指導の下、株式会社ズコーシャが先進的農業コンサルタントを目指していることと、テクノファームのバレイショ貯蔵庫が老朽化していたことから開発された。</p>
<p>2008年</p>	<p>帯広農業高等学校敷地内の HP型凍土低温貯蔵庫</p> 	<p>20本</p>	<p>土谷氏が、農業高校の生徒に研究施設として開発・提供。雪氷エネルギー教育や研究のために利用されている。</p>

土谷氏提供資料等を参考に筆者作成